

دراسة عملية للتأثير المشترك لانتقال الحرارة بالحمل الحر والإشعاع للحالة العابرة خلال فجوة بين اسطوانتين غير متحدثي المركز مائلتان عن الأفق

احمد حسن احمد

مدرس مساعد

الكلية التقنية - كركوك

الخلاصة

تم في هذا البحث استقصاء تجريبي للتأثير المشترك لانتقال الحرارة بالحمل الحر والإشعاع للحالة العابرة خلال فجوة بين اسطوانتين غير متحدثي المركز مائلتان عن الأفق بزاوية (Φ) تحت شرط ثبوت درجة الحرارة للسطحين. شملت الدراسة بيان تأثير كل من عدد رالي للحالة العابرة والمتضمن تأثير الزمن اللازم للوصول إلى حالة الاستقرار، الموقع الزاوي للاسطوانة الداخلية ونسبة اللامركزية للاسطوانة الداخلية على انتقال الحرارة بالحمل الحر والإشعاع للحالة العابرة خلال الحيز المغلق بين الاسطوانتين المائلتين.

بينت الدراسة أن قابلية الاسطوانة الداخلية على انتقال الحرارة بالحمل الحر تقل بزيادة عدد رالي للحالة العابرة والذي بدوره يزداد بزيادة الزمن لحين الوصول لحالة الاستقرار، في حين إنها تزداد بزيادة الموقع الزاوي للاسطوانة الداخلية وتقل بزيادة نسبة اللامركزية ما عدا نسبة اللامركزية ($\varepsilon=0.351$) في الموقع الزاوي ($\delta=180^\circ$) فإن قابليتها سوف تكون أعلى بالمقارنة مع الحالة المركزية ($\varepsilon=0$). أما بالنسبة للتأثير على انتقال الحرارة بالإشعاع فإنه لا يتأثر إلا بالفرق في درجات الحرارة والذي يكون دالة للزمن المستغرق للوصول لحالة الاستقرار.

الكلمات الدالة

انتقال الحرارة، الحمل الحر، الحالة العابرة، الإشعاع، فجوة غير متحدة المركز

قائمة الرموز

الرمز	المعنى	الوحدات
A	المساحة	m^2
C	الحرارة النوعية	$kJ/kg^{\circ}K$
d	القطر الخارجي للأسطوانة الداخلية	m
D	القطر الداخلي للأسطوانة الخارجية	m
g	التعجيل الأرضي	m/s^2
h	معامل انتقال الحرارة	W/m^2K
I	التيار	A
L	طول الاسطوانة	m
m	الكتلة	kg
Q	معدل الحرارة المنتقلة	W
Ra	عدد رالي	—
T	درجة الحرارة	$^{\circ}C$
V	الفولتية	V
ν	اللزوجة الكينماتية	m^2/s
ε	نسبة اللامركزية	—
δ	الموقع الزاوي للأسطوانة الداخلية	deg.
β	معامل التمدد الحجمي	$1/^{\circ}K$
Φ	زاوية الميل عن الأفق	deg.
ρ	الكثافة الكتلية	kg/m^3

الرموز التحتية		
الرمز	المعنى	الوحدات
b	براغي التثبيت	—
c	حمل	—
comb	مشترك	—
i	داخلي	—
l	خسائر	—
m	معدل	—
net	صافي	—
o	خارجي	—
r	إشعاع	—
S	مخزون	—
T	كلي	—
Tef	تفلون	—
1	المرحلة الحالية	—
2	المرحلة السابقة	—

المقدمة

إن عملية انتقال الحرارة بالحمل الحر والإشعاع داخل الفراغات المحصورة لها أهمية كبيرة في الكثير من التطبيقات الهندسية كما هو الحال في تصميم المفاعلات النووية وفي العزل الحراري للمجمعات الشمسية المكافئة وخطوط الأنابيب تحت سطح الأرض وكذلك في العزل الكهربائي لأسلاك نقل القدرة الكهربائية العالية تحت سطح الأرض بواسطة الفجوة الحلقية المحصورة للغاز بين السلك والغلاف المحيط به حيث إن الهواء الساكن أو القريب من السكون وبضغط جوي يعتبر من أهم العوازل الحرارية الشائعة. إن عملية انتقال الحرارة داخل الفجوات المغلقة من المواضيع التي لها

تطبيقات هندسية مختلفة خاصة في أنظمة الخزن الحراري وفي تصميم المفاعلات النووية وغيرها. لقد اهتمت العديد من الدراسات النظرية والعملية بمسائل الحمل الحر في الحيز المحصور بين اسطوانتين متحدتي وغير متحدتي المركز. إن الحالة الانتقالية لانتقال الحرارة بالحمل الحر لمسألة الفجوة الحلقية الأفقية التي تحتوي هواء والتي إحدى تطبيقاتها حالة خطوط نقل الطاقة الكهربائية المدفونة تحت الأرض قد درست لأول مرة من قبل الباحثان ^[1] (Tsui and Tremblay) نظريا بحل المعادلات الحاكمة عدديا، وتوصل الباحثان إلى إن أقصى زمن لازم للوصول إلى حالة الاستقرار يصل إلى اقل من (50sec) وحيث إن الزمن اللازم لرفع درجة حرارة خطوط النقل الكهربائي المدفونة تحت الأرض درجة مئوية واحدة يصل تقريبا إلى (7.5 min) لذلك يمكن الاستعاضة بعدد نسلت للحالة المستقرة بدلا من عدد نسلت للحالة غير المستقرة للتطبيقات العملية. الباحثين ^[2] (Fusegi and Farouk) درسا عملية انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي الثلاثي الأبعاد للحالة العابرة في فجوة حلقية أفقية تقع بين اسطوانتين متمركزي المحور بافتراض إن المائع يخضع إلى افتراض بوسنسك وإلغاء تأثير الإشعاع ولعرض نتائجهما رسم الباحثان منحنيات توزيع درجات الحرارة عند مواقع محورية مختلفة كما قاما برسم منحنيات السرعة الزاوية عند قيم مختلفة لعدد رالي بالإضافة إلى مركبتي السرعة القطرية والمحورية. أجرى الباحثان ^[3] (Vafai and Ettfagh) دراسة عديدة لانتقال الحرارة العابر الثلاثي الأبعاد عبر فجوة أفقية مغلقة تحتوي على الهواء موضحين تأثير النهايات على انتقال الحرارة وبمقارنة نتائجهما مع نتائج بحوث سابقة وجدا توافق جيد بينها. عرض الباحثان نتائجهما بشكل مخططات كتنورية لدالة الجريان ودرجات الحرارة بالإضافة إلى منحنيات توضح تغير عدد نسلت مع الزمن. تبين من مراجعة المصادر السابقة إن هناك شحة في البحوث التي تعالج عملية انتقال الحرارة بين اسطوانتين غير متحدتي المركز للحالة المعتمدة على الزمن وخصوصا الجانب العملي، لذا سوف يتضمن هذا البحث دراسة عملية لانتقال الحرارة المعتمد على الزمن لأسطوانتين غير متحدتي المركز واستقصاء تأثير اللامركزية والموقع الزاوي والزمن على عملية انتقال الحرارة

بالحمل الحر الطباقى والإشعاع داخل الحيز المحصور والشكل (1) يمثل الشكل الهندسى للحيز المحصور قيد الدراسة.

المنشأ التجريبي

الرسم التخطيطي للمنشأ التجريبي مبين في الشكل (2). يتألف أساساً من اسطوانتين من الألمنيوم وخزان ماء التبريد. إن بناء وتركيب هذه الأجزاء موضح بشكل تفصيلي في المصدر^[4]، لذلك سنكتفي هنا بوصف مختصر لهذا المنشأ. إذ إن القطر الخارجى للأسطوانة الداخلية ($d=26\text{mm}$) في حين القطر الداخلى للأسطوانة الخارجية ($D=100\text{mm}$) وكلاهما بطول ($L=400\text{mm}$)، وبذلك تكون نسبة القطرين ($D/d=3.85$) أما بالنسبة لخزان التبريد المصنوع من الحديد المغلون فأبعاده هي ($60*36*36\text{cm}$). تزود الاسطوانة الداخلية بمسخن كهربائي داخلي وهو عبارة عن أنبوب زجاجي موضوع بداخله سلك مقاومة كهربائية مصنوع من سبيكة (Ni-Cr) ذو مقاومة (89.5Ω) عند درجة حرارة الغرفة. زودت الاسطوانة الداخلية بست مزدوجات حرارية من نوع (k) لغرض قياس درجة حرارة سطحها وزعت المزدوجات الحرارية بحيث كانت أربعة منها في منتصف الاسطوانة واثنان على بعد (75mm) من نهايتي الاسطوانتين للقياس والتأكد من مدى انتظام درجة الحرارة على محيط و طول سطح الاسطوانة، بينما تم تثبيت زوج من المزدوجات الحرارية نوع (k) في منتصف الاسطوانة الخارجية تفصل بينهما مسافة زاوية (180°) لقياس درجة حرارة سطحها الداخلي وتم تثبيت زوج من المزدوجات الحرارية لقياس الانحدار الحراري عبر قطعة التفلون. يتم تثبيت الاسطوانة الداخلية داخل الاسطوانة الخارجية باستخدام أربع لولب مصنوع من حديد الصلب بحيث يمكن من خلالها تغيير الموقع الزاوي الاسطوانة الداخلية، وتم غلق نهايتي الفجوة باستخدام زوج من قطع التفلون مشغلة بواسطة المخرطة بحيث تتناسب شكل الاسطوانة الخارجية. وتم تثبيت المجموعة في خزان ماء التبريد وذلك بتثبيتها إلى التقبين المعمولين في الجدارين المتقابلين لخزان ماء التبريد مركزيهما على ارتفاع (15cm) من السطح السفلي لخزان ماء التبريد. وضعت هذه الأجزاء بعد تثبيتها إلى منضدة خشبية قابلة للإمالة بزوايا ميل مختلفة. يتم ربط المسخن الكهربائي إلى دائرة تيار كهربائي متناوب مؤلفة من جهاز قياس التيار، جهاز قياس الفولتية ومحولة كهربائية متغيرة مربوطة إلى مثبت

فولية. كذلك تم استخدام وحدة بينية مربوطة إلى جهاز حاسوب لقراءة وتسجيل درجات الحرارة مع الزمن للمزدوجات الحرارية المربوطة إليها وعددها عشر مزدوجات حرارية. إن تفاصيل الوحدة البينية المذكورة في المصدر [5].

طريقة الاختبار والحسابات

تنبت الاسطوانة الداخلية إلى الحالة المركزية ($\varepsilon=0$) أولاً وذلك لكي تكون هذه الحالة كمرجع للمواقع الأخرى للاسطوانة الداخلية ومقارنتها معها، بعد ذلك يتم تجهيز المسخن بقدرة كهربائية متناوبة بواسطة محولة كهربائية متغيرة مربوطة على التوالي مع مثبت فولتية. وتم اختبار مستوى ثابت للفولتية في جميع الاختبارات ومقداره (35Volte) يتم قراءة وتسجيل التيار المقابل لهذا الجهد عند كل اختبار وفي بداية كل اختبار يتم تشغيل الوحدة البينية وجهاز الحاسوب وذلك لغرض قراءة وتسجيل درجات الحرارة والزمن المقابل لها حيث يتم التسجيل لقراءة المزدوجات الحرارية كل نصف دقيقة، وتستمر هذه العملية لحين الوصول لحالة الاستقرار والتي يتم الاستدلال عليها من ملاحظة استقرار درجات الحرارة والتي تستغرق بحدود-1.5 (1 ساعة ولقد تراوحت درجات الحرارة لسطح الاسطوانة الداخلية من بداية التسخين لحين الوصول إلى حالة الاستقرار ($20-60^{\circ}\text{C}$) درجة مئوية. بعد الانتهاء من الحالة المركزية يتم تغيير الموقع الزاوي للاسطوانة الداخلية إلى ($\delta=0^{\circ}$) ولنسب اللامركزية المختبرة وهي (0.621,0.351) وبعد ذلك يتم تغيير الموقع الزاوي إلى ($90^{\circ},180^{\circ}$) ويتبع نفس الأسلوب في الاختبار للحالة المركزية. وفي جميع الحالات كانت زاوية ميل المنظومة عن الأفق هي (25°) وذلك لمعرفة تأثير هذه الزاوية على التصرف الحراري للمنظومة. لغرض بيان التأثير المشترك لانتقال الحرارة بالحمل الحر والإشعاع للحالة العابرة وللمواقع المختلفة للاسطوانة الداخلية فقد تم اختزال البيانات التجريبية المسجلة وحصرت بعدد نسلت وعدد رالي لزاوية الميل المذكورة ($\Phi=25^{\circ}$). حيث أجري ما يأتي:

حسبت القدرة الكلية المجهزة للمسخن من الفولتية والتيار المجهزين:

$$Q_t = V * I \dots\dots\dots (1)$$

إن الحرارة الكلية المجهزة للمسخن يتم امتصاص جزء منها من قبل الاسطوانة الداخلية وينتقل الجزء المتبقي من سطح الاسطوانة بواسطة الحمل والإشعاع بالإضافة إلى الخسائر عبر قطعتي التفلون عند نهايتي الفجوة والخسائر المنتقلة عن طريق براغي التثبيت، وحسب العلاقة:

$$Q_t = Q_c + Q_r + Q_s + Q_l \dots\dots\dots (2)$$

إن الحرارة الممتصة من قبل الاسطوانة الداخلية لحين الوصول إلى حالة الاستقرار تحسب من العلاقة الآتية:

$$\dots\dots\dots (3) Q_s = m * C * \frac{dT}{dt} = m * C * \frac{T_2 - T_1}{t_2 - t_1}$$

أما الخسائر عبر قطعتي التفلون عند نهايتي الفجوة والخسائر المنتقلة عن طريق براغي التثبيت فيحسب من العلاقة:

$$\dots\dots\dots (4) Q_l = k_t * A_t * \frac{T_{tefi} - T_{tefo}}{L_t} + k_b * A * \frac{\Delta T_b}{L_b}$$

بناءً على ما سبق فإن صافي الفيض الحراري المنتقل بواسطة الحمل والإشعاع يستخرج من العلاقة:

$$\dots\dots\dots (5) Q_{net} = Q_c + Q_r = Q_t - (Q_s + Q_l)$$

وإن معدل معامل انتقال الحرارة الإجمالي من سطح الاسطوانة الداخلية يساوي^[6]:

$$\bar{h}_{comb.} = \frac{Q_{net}}{\pi d L (T_i - T_o)} \dots\dots\dots (6)$$

واعتماداً على قيمة معدل معامل انتقال الحرارة فقد تم حساب عدد نسلت حسب العلاقة:

$$\overline{Nu} = \frac{\overline{h_{comb}} \cdot d}{k} \dots\dots\dots (7)$$

أما عدد رالي فقد تم حسابه من العلاقة:

$$Ra = \frac{g\beta(T_i - T_o)d^3}{\nu\alpha} \dots\dots\dots (8)$$

كما إن جميع خصائص الهواء قد تم حسابها عند معدل درجة الحرارة للاسطوانتين الداخلية والخارجية (T_m) حيث إن:

$$T_m = \frac{T_i + T_o}{2} \dots\dots\dots (9)$$

باستخدام المعادلتين (7) و (8) أمكن اختزال جميع البيانات التجريبية كدالة لمتغيرين فقط هما عدد نسلت Nu وعدد رالي Ra لكل موقع للاسطوانة الداخلية.

النتائج والمناقشة

إن منحني المعايرة للمنشأ التجريبي موضح بالشكل (3) وهو مأخوذ من المصدر^[4] والذي يقارن فيه بين نتائجه مع نتائج البحث المنشور من قبل (Kuhlen and Goldstein^[7]). كذلك فإن ثبوت درجة الحرارة على السطح الخارجي للاسطوانة الداخلية تم التأكد منه وكما موضح بالشكل (4) الذي يمثل توزيع درجة الحرارة على طول السطح، في حين إن الشكل (5) يمثل توزيع درجة الحرارة على محيط السطح في منطقة المنتصف، ومن خلال هذين الشكلين يمكن ملاحظة مدى

الانتظام الحاصل لتوزيع درجة الحرارة على طول ومحيط سطح الاسطوانة الداخلية وذلك نتيجة للتوزيع المتجانس للمصدر الحراري الذي بداخلها وكذلك لوجود الرمل الذي يعمل على جعل مصدر الحرارة (المسخن الكهربائي) يأخذ موقعاً متمركزاً بداخل الاسطوانة، أما بالنسبة لتوزيع درجة الحرارة على السطح الداخلي للأسطوانة الخارجية فإنه لا يتأثر وذلك لأن السطح يكون معرض وبشكل مباشر إلى درجة حرارة ثابتة ومنخفضة (بحدود 5°C) الناتجة عن خليط الماء وجريش الثلج.

الأشكال (6,7,8) تبين معدل انتقال الحرارة من الاسطوانة الداخلية متمثلاً بعدد نسلت مرسوماً مقابل عدد رالي للحالة العابرة الذي هو دالة للفرق في درجات الحرارة بين الاسطوانتين الداخلية والخارجية والذي هو بدوره داله للزمن المستغرق للوصول إلى حالة الاستقرار ويزداد هذا الفرق بزيادة الزمن وبالنتيجة يؤدي إلى زيادة في عدد رالي، وفي هذه الأشكال تم الرسم بينهما بثبوت الموقع الزاوي (δ) وتغيير نسبة اللامركزية (ε). حيث يلاحظ من الشكل (6) انه بزيادة نسبة اللامركزية باتجاه الموقع الزاوي ($\delta=0^{\circ}$) فإن معدل عدد نسلت يقل وذلك نتيجة للنقصان الحاصل في حجم المائع المشارك في عملية نقل الحرارة بالمقارنة مع الحالة المركزية ($\varepsilon=0$)، بزيادة الموقع الزاوي إلى ($\delta=90^{\circ}$) فإن التصرف سوف يكون مشابهاً للحال ($\delta=0^{\circ}$) وكما موضح بالشكل (7)، بينما بزيادة الموقع الزاوي إلى ($\delta=180^{\circ}$) والذي يوضحه الشكل (8) فإن معدل انتقال الحرارة سوف يزداد بدايةً (عند نسبة اللامركزية $\varepsilon=0.351$) وذلك لأنه عند هذه النسبة وفي هذا الموقع الزاوي تكون حركة المائع بحرية أكبر داخل الفراغ الحلقى عند المقارنة مع الحالة المركزية ($\varepsilon=0$) وبذلك يكون حجم المائع المشارك في عملية نقل الحرارة أكبر، وبالاستمرار في زيادة نسبة اللامركزية في هذا الاتجاه ($\varepsilon=0.621$) فإن معدل انتقال الحرارة سوف يقل وذلك لعودة التقييد الحاصل في حركة المائع عند هذه النسبة. أما بالنسبة للشكلين (9,10) فيوضحان تأثير زيادة الموقع الزاوي (δ) بثبوت نسبة اللامركزية (ε) حيث يلاحظ من هذين الشكلين أنه بزيادة الموقع الزاوي يزداد معدل عدد نسلت (أي زيادة معدل انتقال الحرارة) وذلك نتيجةً للتمدد الحاصل في خلايا الحمل. أما عدم الانتظام الحاصل في نقطة البداية في بعض المنحنيات فهذا يعتمد على الظروف المحيطة بالاسطوانة

الخارجية والتي تكون مبردة بواسطة خليط من الماء وجريش الثلج الموجود في خزان التبريد.

الاستنتاجات

من خلال ما تقدم يمكن التوصل إلى ما يأتي:

- 1- إن عدد رالي للحالة العابرة يزداد بزيادة الفرق في درجات الحرارة بين سطحي الفجوة الداخلي والخارجي والذي يزداد بزيادة الزمن اللازم للوصول إلى حالة الاستقرار.
- 2- إن معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر للحالة العابرة خلال الفجوة المحصورة المائلة يقل بزيادة عدد رالي للحالة العابرة.
- 3- إن معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر للحالة العابرة خلال الفجوة يزداد بزيادة الموقع الزاوي للأسطوانة الداخلية ويقل بزيادة نسبة اللامركزية ما عدا عند النسبة ($\varepsilon=0.531$) للموقع الزاوي ($\delta=180^\circ$) حيث إن معدل انتقال الحرارة في هذه الحالة سوف يزداد بالمقارنة بالحالة المركزية ($\varepsilon=0$).
- 4- إن معدل انتقال الحرارة بالإشعاع داخل الفجوة هو دالة للفرق في درجات الحرارة فقط.

المصادر

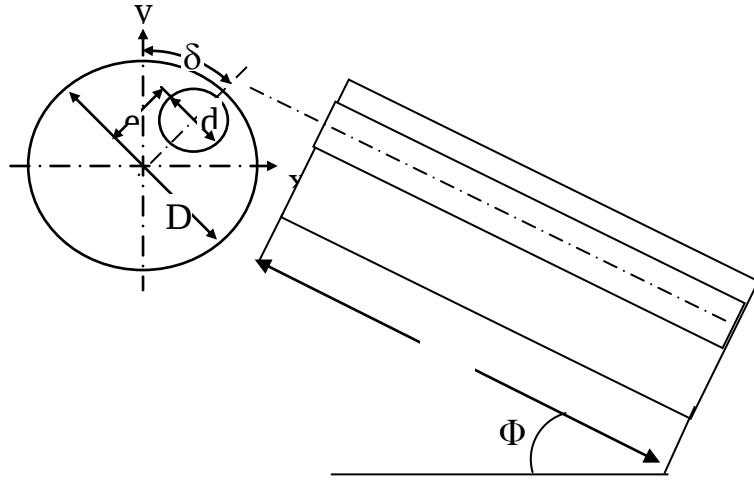
1. Tsui, Y. T. and Tremblay, B., "Transient Natural Convection Heat Transfer In The Annulus Between Concentric Horizontal Cylinder With Isothermal Surfaces", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 27, No. 1, pp. 103-111, 1984.
2. Fusegi, T. and Farouk, B., "A Three - Dimensional Study Of Natural Convection In The Annulus Between Horizontal Concentric Cylinders", Proceeding of the

Eighth International Heat Transfer Conference, No. 4, pp. 1575-1580, 1986.

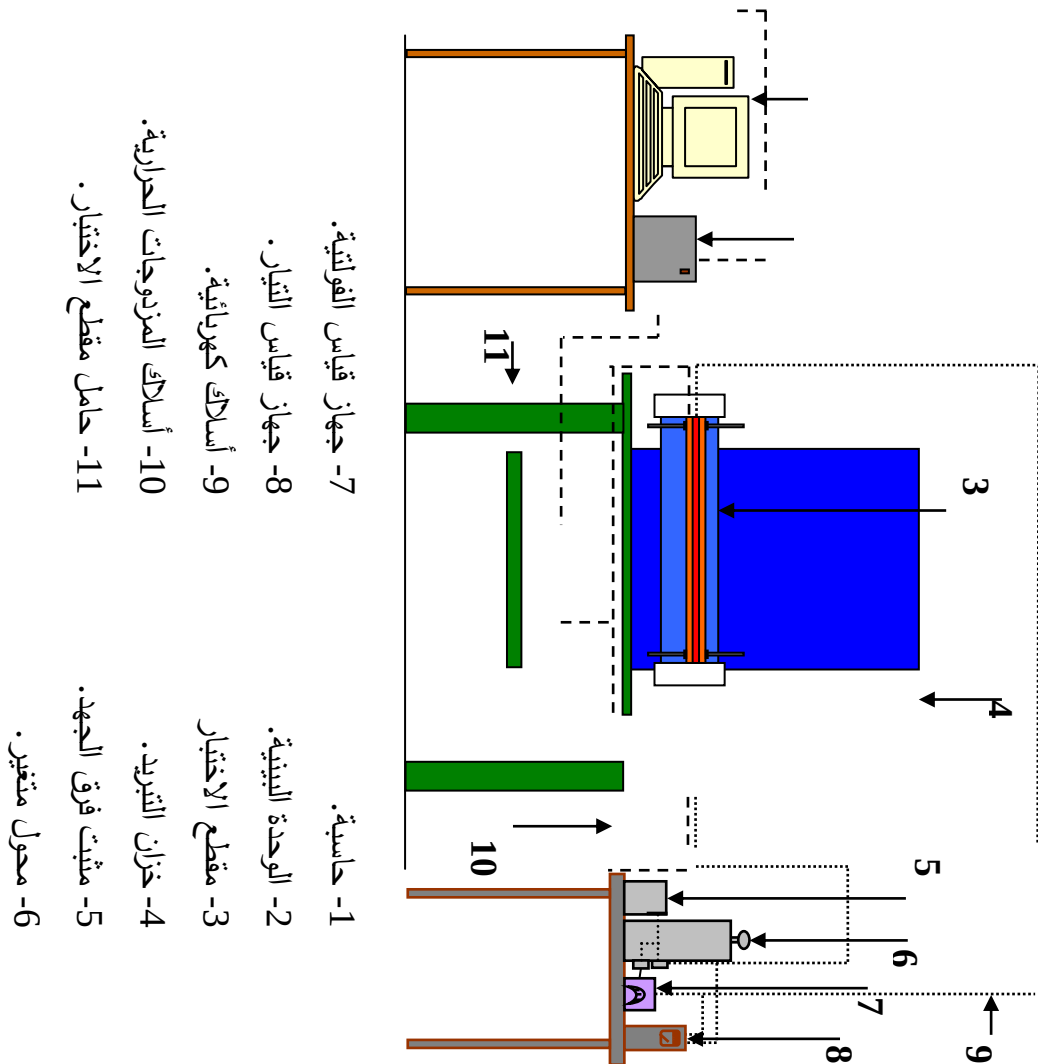
3. Vafai, K. and Etefagh J., "An Investigation Of Transient Three -Dimensional Buoyancy – Driven Flow And Heat Transfer In A Closed Horizontal Annulus", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 34, No. 10, pp. 2555-2570, 1991.

4-الجميل، خلف إبراهيم حماده، "دراسة نظرية وعملية لانتقال الحرارة بالحمل الحر خلال فجوة بين اسطوانتين أفقيتين غير متحدثي المركز"، أطروحة ماجستير، جامعة تكريت 2005.

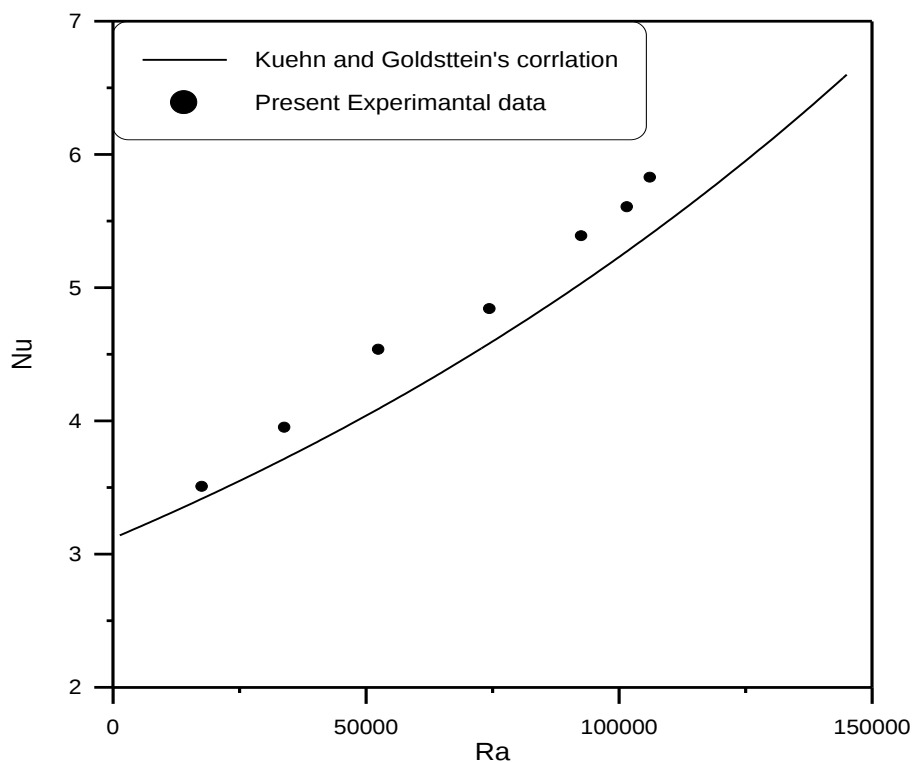
5. Aziz, M. M. "Performance of Perforated and Non-Perforated Fins", Ph.D. Thesis, University Of Baghdad, 2005.
6. Yunus, A. Cengel, "Heat Transfer A Practical Approach", Mc-Graw Hill, Inc., 1998.
7. Kuehn, T. H. and Goldstein, R. J., "An Experimental Study of Natural Convection Heat Transfer in Concentric and Eccentric Horizontal Cylindrical Annuli", ASME, J. Heat Transfer, Vol. 100, (1978) pp.635-641.



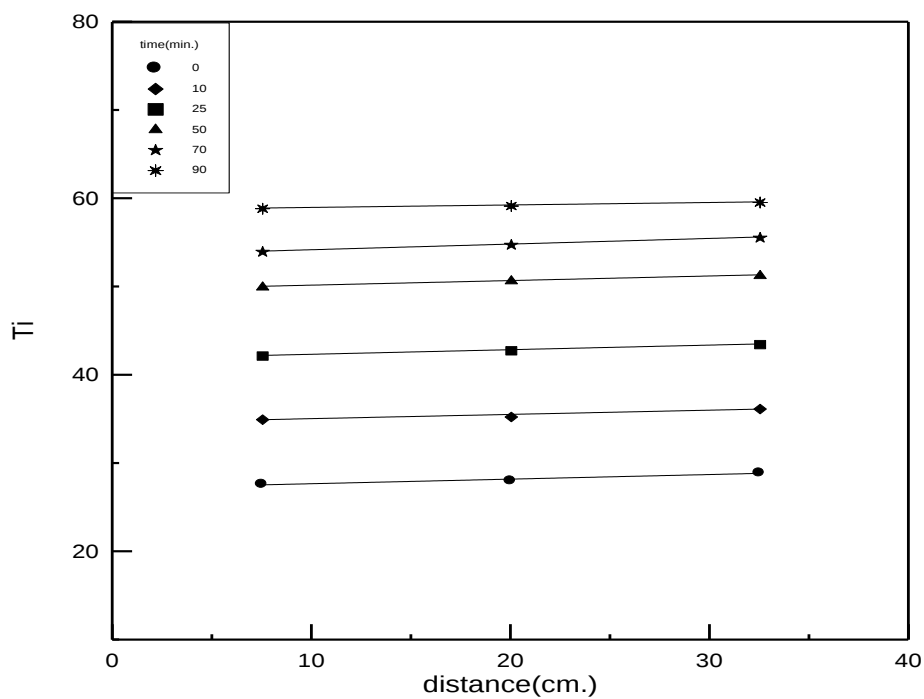
شكل (1) يمثل الشكل الهندسي للحيز المحصور



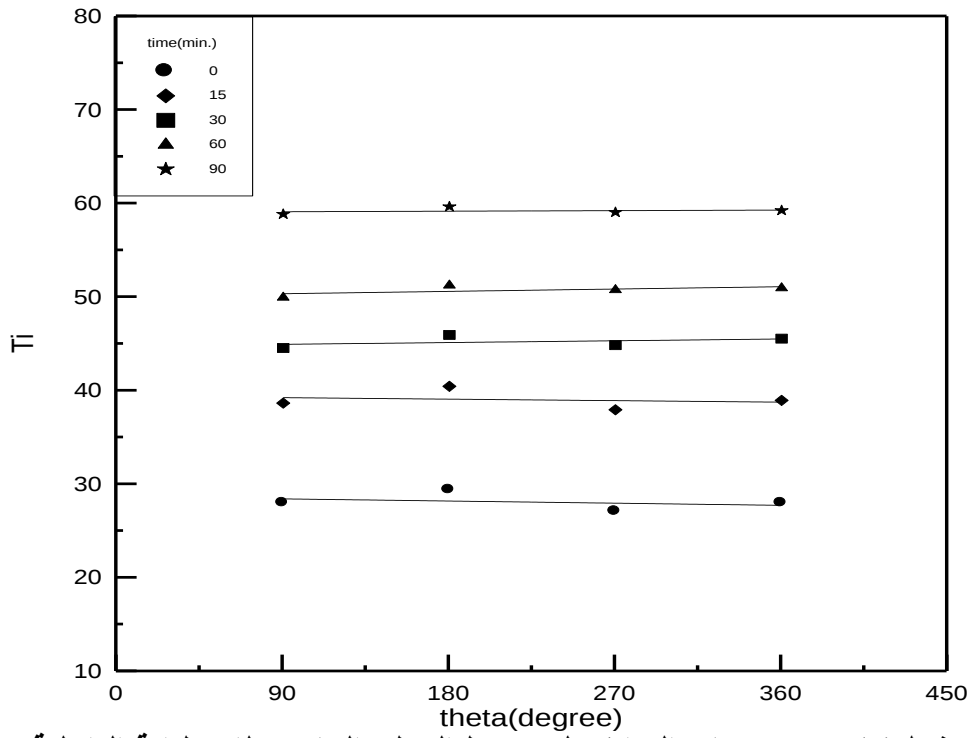
شكل (2) الرسم التخطيطي للمنشأ التجريبي المستخدم في الاختبار



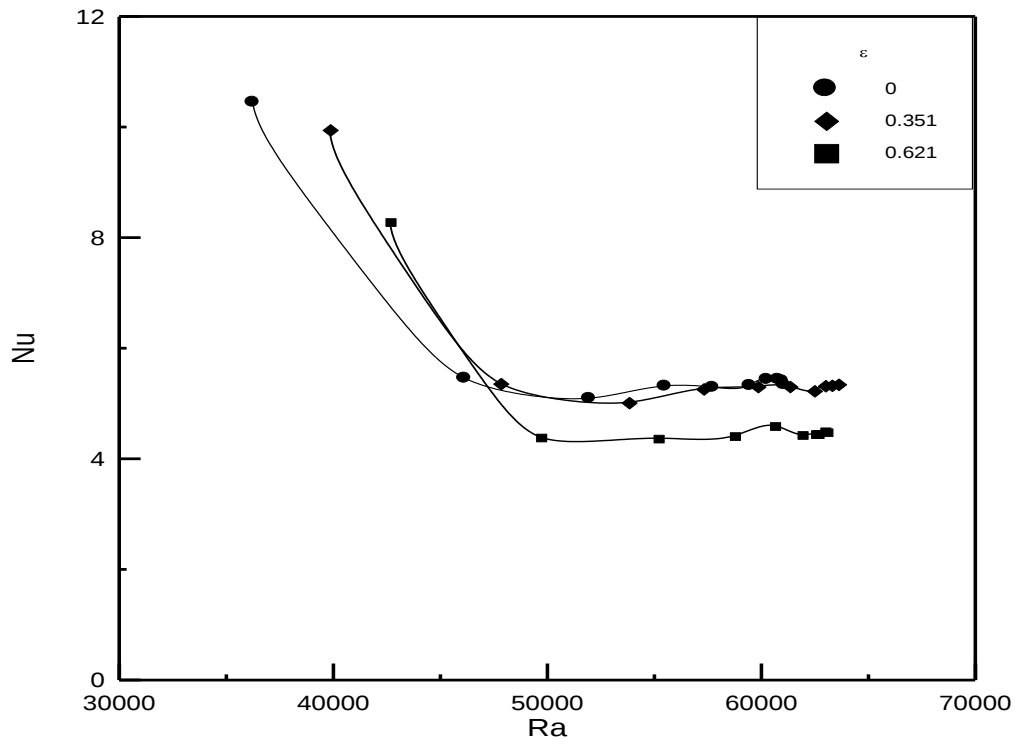
شكل (3) مقارنة النتائج المختبرية مع العلاقة الارتباطية المقترحة من قبل [6]



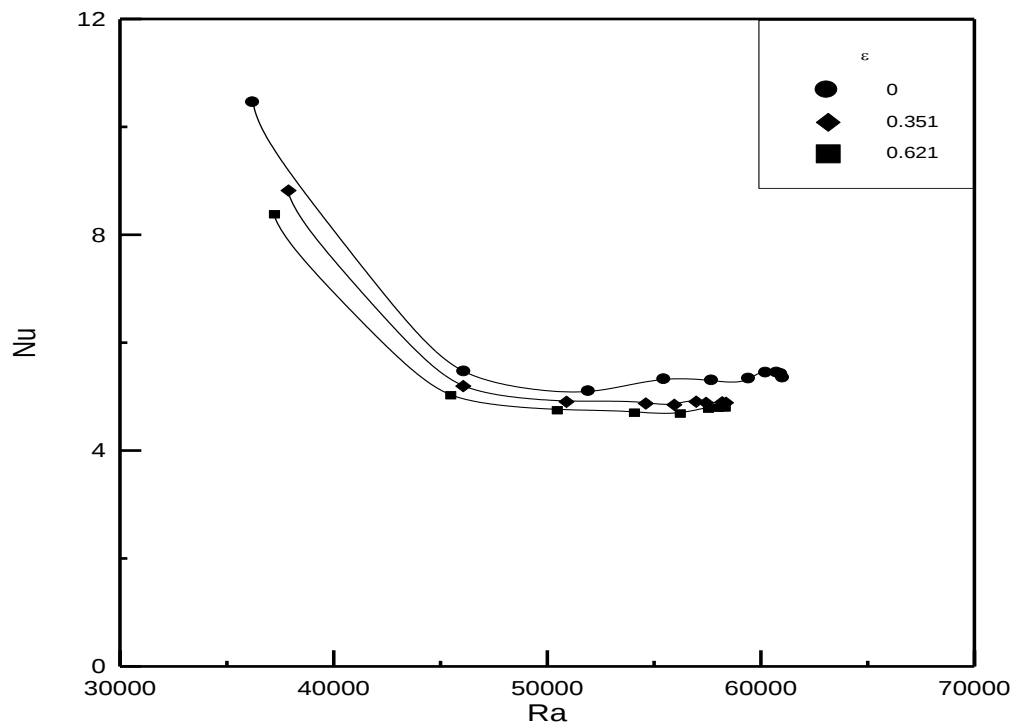
شكل (4) توزيع درجات الحرارة على طول السطح الخارجي للأسطوانة الداخلية



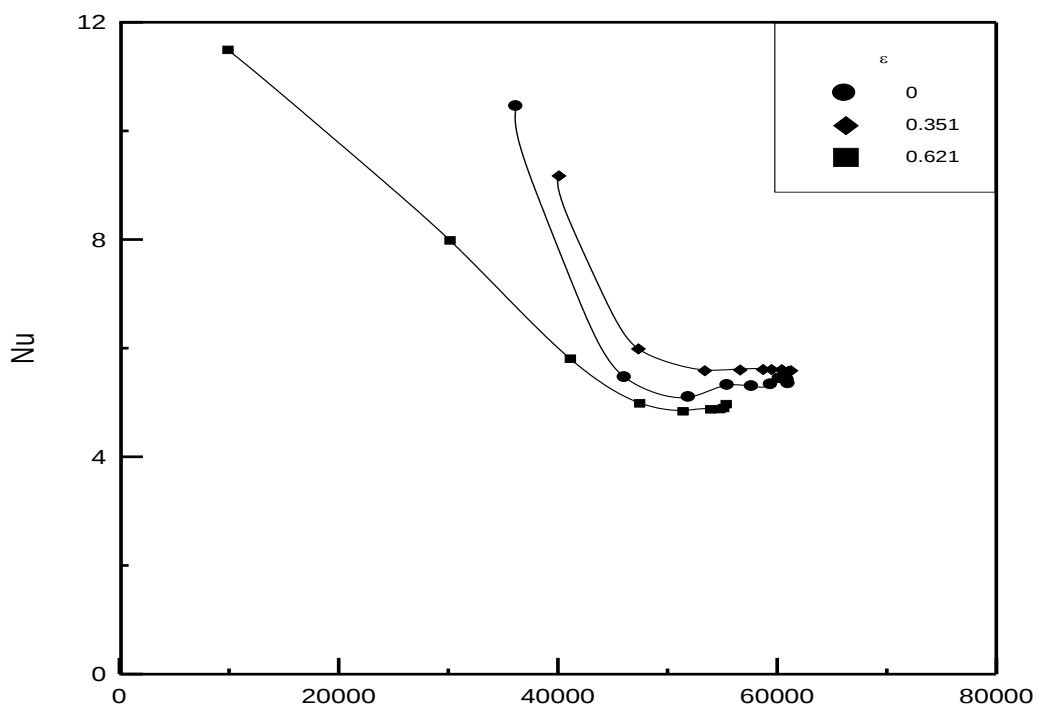
شكل (5) توزيع درجات الحرارة على محيط السطح الخارجي للأسطوانة الداخلية



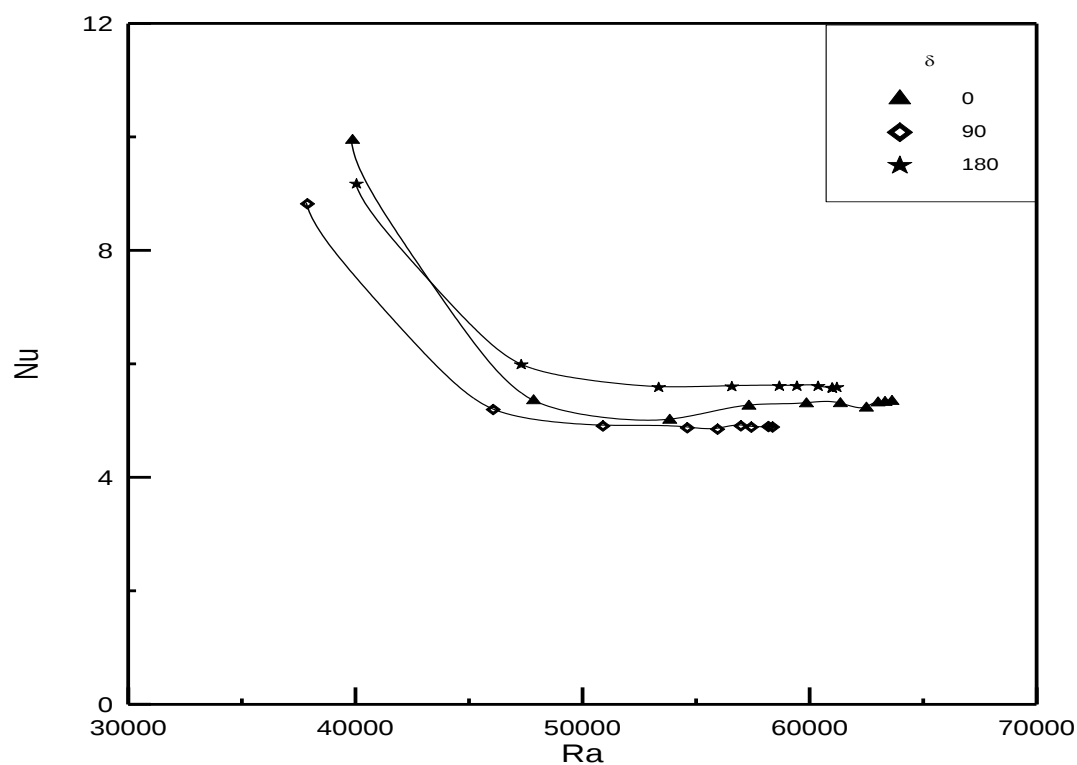
شكل (6) توزيع معدل عدد نسلت مع عدد رالي للموقع الزاوي ($\delta=0^\circ$)



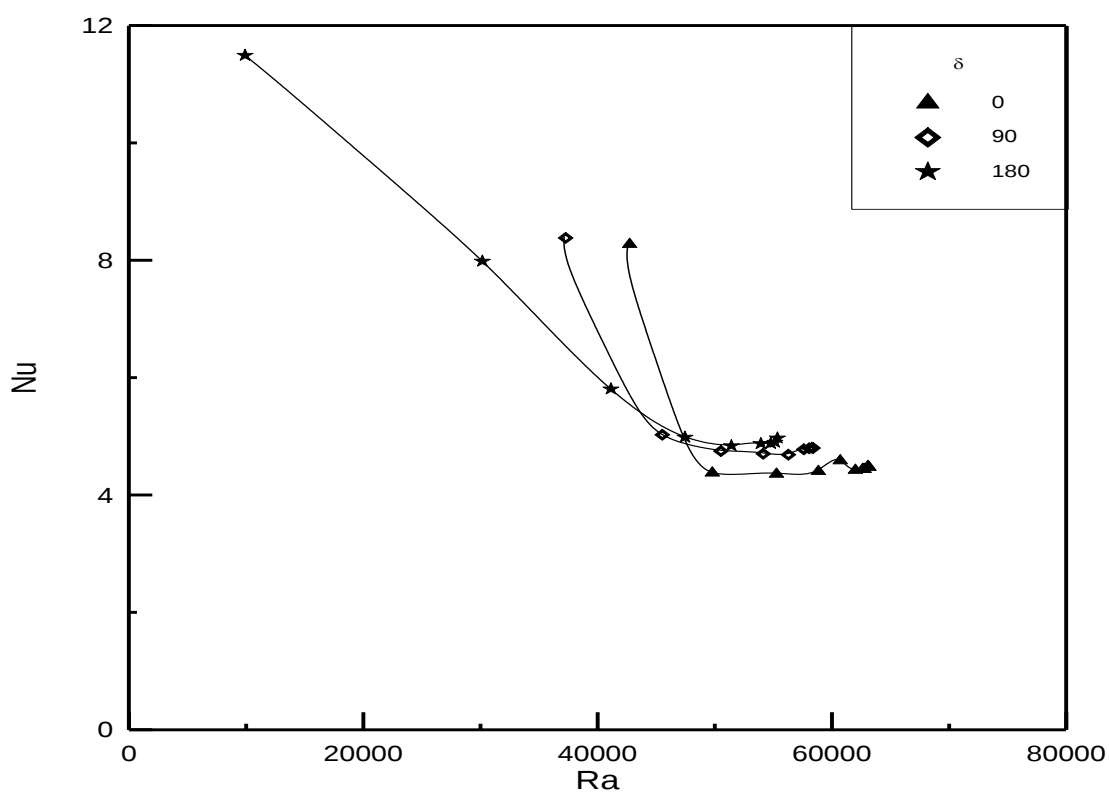
شكل (7) توزيع معدل عدد نسلت مع عدد رالي للموقع الزاوي ($\delta=90^\circ$)



شكل (8) توزيع معدل عدد نسلت مع عدد رالي للموقع الزاوي ($\delta=180^\circ$)



شكل (9) توزيع معدل عدد نسلت مع عدد رالي لنسبة اللامركزية ($\epsilon=0.351$)



شكل (10) توزيع معدل عدد نسلت مع عدد رالي لنسبة اللامركزية ($\epsilon=0.621$)

AN EXPERIMENTAL STUDY OF COMBINED EFFECT FOR UNSTEADY NATURAL CONVECTION AND RADIATION HEAT TRANSFER THROUGH A CAVITY BETWEEN INCLINED ECCENTRIC CYLINDERS

Ahmmed H. Ahmmed
Ass. Lecturer
Technical Colege-Kirkuk

ABSTRACT

An experimental investigation was carried out for combined effect for unsteady natural convection and radiation heat transfer between inclined eccentric cylinders under constant surfaces temperature condition. The study included the effect of transient Raleigh number, which includes the effect time required to reach the steady state, the angular position of the inner cylinder and the eccentricity ratio for the inner cylinder on the convection and radiation heat transfer for unsteady state through enclosure between inclined cylinders.

The study showed that the ability of the inner cylinder on transient convection heat transfer decreased as the transient Raleigh number increased which is increase as time required to reach the steady state increase, perhaps this ability increase as the angular position for the inner cylinder increase and decrease as eccentricity ratio increase except at the ratio ($\epsilon=0.351$) in the angular position ($\delta=180^\circ$) where this ability will be higher than concentric state

($\varepsilon=0$). While the radiation heat transfer depended only on the temperature, difference, which is a function of time, required to reach the study state.

KEY WORDS

Heat transfer, natural convection, transient state, radiation, eccentric cavity.